

沥青路面加热型密封胶的性能评价

李 峰, 黄颂昌, 徐 剑

(交通运输部公路科学研究所 道路结构与材料交通行业重点实验室, 北京 100088)

摘要: 分析了 20 种加热型密封胶的软化点和流动试验结果, 结果表明软化点和流动值具有相关性(显著性水平 $p < 0.01$), 建议弃用流动试验. 分别采用水泥混凝土模块和沥青混凝土模块制作拉伸试件, 进行低温拉伸试验. 对试验结果进行双因素方差分析, 结果显示不同模块对低温拉伸试验的影响不显著(显著性水平 $p > 0.05$), 建议采用沥青混凝土模块. 进行了沥青路面裂缝运动观测, 根据观测结果, 提出 4 种类型密封胶低温拉伸试验的试验温度和拉伸量要求分别为: $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 和 25%、 $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 和 50%、 $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 和 75%、 $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ 和 150%. 该研究为交通行业标准的修订提供了技术依据.

关键词: 道路工程; 裂缝; 加热型密封胶; 性能评价; 技术要求; 方差分析

中图分类号: U414

文献标志码: A

Performance Evaluation of Asphalt Pavement Hot-applied Sealant

LI Feng, HUANG Songchang, XU Jian

(Key Laboratory of Road Structure & Material, Research Institute of Highway of the Ministry of Transport, Beijing 100088, China)

Abstract: Softening point and flow test results of twenty hot-applied sealants were analyzed. The results show that the softening point and flow value are related (significance level $p < 0.01$), thus flow test can be abandoned. Cement concrete specimens and asphalt concrete specimens were conducted by bond test, respectively. Two-factor analysis of variance show cement concrete specimens and asphalt concrete specimens do not have significant effects on bond test (significance level $p > 0.05$). Asphalt concrete specimens were recommended to use in bond test. Asphalt pavement crack movements were observed, according to the observations, test temperature and extension requirements of bond test for four types sealants were: $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ and 25%, $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ and 50%, $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ and 75%, $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ and 150%, respectively. The study provides a technical basis for the revision of the transportation industry specification for hot-applied sealant.

Key words: road engineering; crack; hot-applied sealant; performance evaluation; technical requirement; analysis of variance

我国高等级公路沥青路面普遍采用加热型密封胶进行开槽灌缝处理裂缝, 采用的密封胶来源广泛, 但使用效果不尽理想^[1]. 为此, 交通运输部在 2009 年颁布了《路面橡胶沥青灌缝胶》(JT/T 740—2009)^[2], 为规范我国沥青路面加热型密封胶的质量提供了技术标准. 该标准参考 ASTM D5329^[3] 提出了锥入度、软化点、流动、弹性和低温拉伸等 5 个评价指标. 经过三年多的应用, 证实该标准可以有效地区分不同密封胶的性能, 为规范我国密封胶质量, 提高密封胶的路用性能起到了积极的促进作用. 但是, JT/T 740 标准的部分内容仍然存在一些争议和不足之处. 本文通过大量的密封胶性能评价试验, 提出了更为合理的加热型密封胶性能评价方法和技术要求, 为标准的修订提供技术参考.

1 高温性能的评价指标

JT/T 740 标准中, 软化点和流动试验都用于评价密封胶的高温性能. 软化点采用环与球法, 是常规的试验方法, 试验仪器在我国具有广泛的普及率. 流动试验如图 1 所示, 需要专门的测试级镀锡板, 试验模具需要自行加工制作, 相对比较麻烦. 因此, 国内很多沥青实验室提出是否可以取消流动试验, 仅用软化点试验评价密封胶的高温性能. 为此, 本文分析了密封胶的软化点和流动试验结果. 采用的密封胶样品是标准实施以来实验室接收送样检测的国内常用的 20 种密封胶, 编号为: H1~H20.

将软化点和流动试验的结果输入统计分析软件中进行 Pearson 相关性分析, 可得软化点与流动值

的相关性分析图(图2),图中线性回归方程为 $y = -0.197x + 20.437$ 。相关性分析结果表明,软化点和流动值的相关系数 $r = -0.757$,使相关系数为0的假设检验成立的概率 $P = 0.000$,在 $\alpha = 0.01$ 水平(双侧)上显著相关。分析结果表明软化点试验和流动试验具有相关性,因此,同时采用软化点和流动试验评价高温性能的必要性不大,可以取消流动试验。

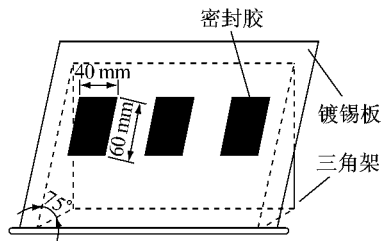


图1 流动试验
Fig.1 Flow test

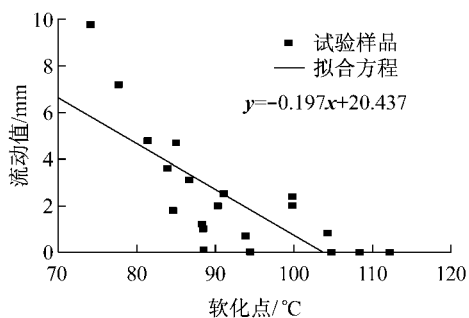


图2 软化点与流动值的相关性

Fig.2 Correlations of softening point test and flow test

2 拉伸试件的混凝土块

2.1 试验方案及结果

低温性能是密封胶的关键性能, JT/T 740 参照 ASTM D5329 制订了低温拉伸试验, 拉伸试件采用的是水泥混凝土模块, ASTM D1985^[4] 给出了水泥混凝土模块的制作标准。但是, 国内同行对此常有这样的质疑: 采用水泥混凝土模块所得试验结果能否反映沥青路面加热型密封胶的性能, 为何不直接采用沥青混凝土模块? 为此, 本文分别制作了水泥混凝土模块和沥青混凝土模块, 在相同条件进行低温拉伸试验, 以比较两者的异同。水泥混凝土按照 JT/T 740 制作, 采用标号 32.5 的普通硅酸盐水泥和石灰岩集料。沥青混凝土采用 AC-13 中值级配, 90 号基质沥青, 与水泥混凝土块同一料源的石灰岩集料。

由于国内多数密封胶的低温性能较差, 很多密封胶的低温拉伸量仅在 0~3 mm^[5], 达不到行业标准的要求, 对于这些低温拉伸量很小的密封胶, 进行

对比试验的意义不大。因此, 在上述 20 种密封胶样品中, 挑选了 8 种低温性能较好的样品(编号分别为 H4、H5、H6、H7、H9、H10、H11 和 H12), 分别进行了拉伸循环试验(50%拉伸量, 三次循环)以及一次拉伸试验(一次拉伸直至试件破坏), 所得试验结果见表 1。

表1 两种拉伸试件的低温拉伸试验结果

Tab.1 Results of bond test for two types

密封胶	bond specimens							
	水泥混凝土块				沥青混凝土块			
	50%三次循环	最大拉伸量/mm	50%三次循环	最大拉伸量/mm	50%三次循环	最大拉伸量/mm	50%三次循环	最大拉伸量/mm
高温型 H4	通过	>60	>60	>60	通过	>60	>60	>60
高温型 H5	通过	>60	>60	>60	通过	>60	>60	>60
普通型 H10	通过	>60	>60	>60	通过	>60	>60	>60
普通型 H12	通过	39.9	37.1	43.5	通过	42.7	41.1	45.4
低温型 H6	通过	35.5	57.8	45.0	通过	58.3	47.0	38.3
低温型 H11	通过	40.3	36.6	46.1	通过	32.8	44.1	39.8
严寒型 H7	通过	44.5	27.8	25.4	通过	35.9	40.0	29.7
严寒型 H9	通过	27.2	36.7	29.6	通过	38.2	30.3	31.4

2.2 双因素方差分析

为分析不同模块对拉伸试验结果的影响, 需要对试验数据进行方差分析。方差分析是检验多个样本均数间差异是否具有统计意义的一种方法^[6]。在本文中, 需要考察的是不同模块对拉伸实验结果的影响。有 2 个因素: 模块和密封胶, 模块有 2 个水平: 水泥混凝土块和沥青混凝土块, 密封胶有 8 个水平: 高温型 H4 和 H5、普通型 H10 和 H12、低温型 H6 和 H11、严寒型 H7 和 H9, 每一次处理情境中有 3 次重复测量。

表 1 中, 所有样品都通过了拉伸循环试验, 因此没有体现出水泥模块和沥青模块之间的差异。密封胶样品 H4、H5 和 H10 的一次拉伸试验均超过了 60 mm, 接近了拉伸设备的最大行程, 也没有体现水泥模块和沥青模块之间的差异。其余 5 种密封胶样品的一次拉伸试验表现了不同的最大拉伸量, 将这 5 种密封胶的一次拉伸试验结果输入统计分析软件中进行重复测量数据的双因素方差分析, 结果见表 2。表中, 误差来源“模块 * 密封胶”表示模块与密封胶的交互效应引起的误差, F 值是组间均方与组内均方的比值, p 值是观测得到的显著性水平。

表 2 的双因素方差分析显示: 不同模块之间不存在显著性差异, $p = 0.566 > 0.05$ 。分析认为, 这是由于模块切割面的大部分截面是同一料源的石灰岩集料, 这部分的截面与密封胶的粘结能力是相当的; 不同密封胶之间存在显著的主效应, $p = 0.009 < 0.05$ 。表明不同密封胶的低温拉伸试验结果有显著

差异,即不同密封胶具有不同的低温性能,这是显而易见的结果;模块与密封胶之间不存在显著的交互效应, $p=0.969>0.05$ 。

表2 双因素方差分析结果

Tab.2 Results of two-factor analysis of variance					
误差来源	离均差的平方和	自由度	均方	F值	P值
模块	16.133	1	16.133	0.340	0.566
密封胶	860.573	4	215.143	4.538	0.009
模块*密封胶	25.007	4	6.252	0.132	0.969
误差	948.233	20	47.412		
总计	1 849.946	29			

JT/T 740 采用水泥混凝土模块的目的是为了与国际标准(ASTM D1985)接轨,便于国内外材料评价结果之间的比较。分析结果表明 JT/T 740 标准采用水泥混凝土模块所得试验结果与采用沥青混凝土模块基本一致。这一结论也可由表2的拉伸循环试验结果(均为通过)和密封胶样品 H4、H5 和 H10 的一次拉伸试验结果(均为大于 60 mm)作为傍证。

本文出于以下两点考虑,建议 JT/T 740 标准下次修订时改用沥青混凝土模块:

(1) 试件的标准化

国内大部分的沥青及沥青混合料实验室均不具备制作水泥混凝土模块所需的水泥混凝土标准养生室条件,而制作沥青混凝土模块所需要的沥青、集料、车辙成型仪及切割机等条件比较容易获得。因此,水泥混凝土模块的制作难度远大于沥青混凝土模块,采用沥青混凝土模块有利于在我国推广普及沥青路面加热型密封胶的性能评价试验。

(2) 符合实际应用情况

尽管不同模块对低温拉伸试验结果的影响不显著,但方差分析结果的不显著不代表没有差异。在这种情况下,采用与沥青路面同类型的沥青混凝土材料进行试验更能反映加热型密封胶的路用性能。

3 低温性能的评价

3.1 裂缝运动观测

沥青路面裂缝随着路面温度变化而产生运动,显然,路面温度越低,裂缝扩张量越大。这表明,使用地区的气温越低,密封胶的试验温度应越低,并且拉伸量要求应越高。这也是北方地区密封胶冬季失效现象突出的主要原因,材料在低温条件下变脆,与此同时,裂缝的扩张量增大。

本文在北京和乌鲁木齐进行了沥青路面裂缝运

动的长期观测。观测方法如图3所示,在裂缝两侧各埋一枚钢钉,定期用游标卡尺测两钢钉之间的距离,同时记录路面温度,观测频率为每月2~3次。在北京地区某条沥青路面上进行为期一年的观测,测得运动量和路面温度如图4所示。图中显示了该路段6条典型横向裂缝(编号A~F)的运动量与路面温度曲线。裂缝运动量的计算规则为,一年内两个钢钉之间的最小宽度记为初始运动量0,其余时间的裂缝运动量为两钢钉间的宽度与最小宽度的差值。

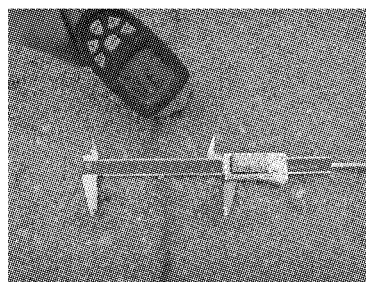


图3 裂缝运动量实测

Fig.3 Crack movement measurement

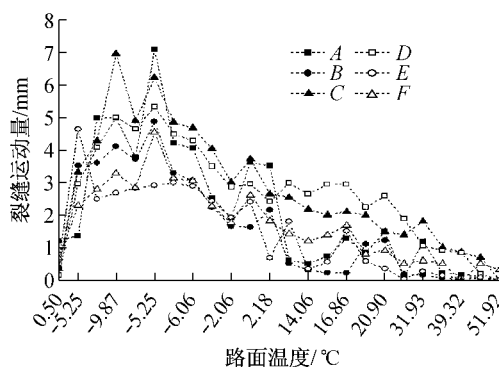


图4 裂缝运动量和路面温度实测数据

Fig.4 Data of crack movement and pavement temperature

3.2 观测结论

(1) 路面温度在 0 °C 以上的区间,裂缝运动量比较小,在此区间的裂缝运动可以忽略不计。理论分析认为:沥青混凝土是黏弹性材料,温度越低,越接近于弹性材料,随温度变化的线收缩性表现越明显;温度越高,越接近于黏性材料,随温度变化的线收缩性表现越不明显。观测结果与理论分析一致。

(2) 路面温度在 0 °C 以下的区间,裂缝运动量随温度变化而产生明显变化。实测中,北京地区极端路面最低温度在 -10 °C 上下,最大裂缝运动量为 7.10 mm;路面温度在 0 °C 上下时,最大裂缝运动量为 3.73 mm。新疆地区极端最低温度可达 -30 °C 以下,实测最大裂缝运动量为 13.59 mm。由此,本文据沥

青路面裂缝运动实测情况,拉伸量适当大于实测最大裂缝运动量并取整后,提出如下4种类型密封胶的拉伸量要求,分别为:0℃,25%(3.75 mm);-10℃,50%(7.5 mm);-20℃,75%(11.25 mm);-30℃,100%(15 mm)。标准拉伸试件采用沥青混凝土模块,密封胶宽度为15 mm。

4 加热型密封胶的技术要求

4.1 技术要求的修正

根据上述分析,本文提出了修正的评价指标及技术要求(表3)。

表3 加热型密封胶的评价指标及技术要求的修正

Tab.3 Revision of evaluation index and technical requirements for hot-applied sealant

评价指标	高温型	普通型	低温型	严寒型
锥入度/(0.1 mm)	≤70	50~90	70~110	90~150
软化点/℃	≥80	≥80	≥80	≥80
弹性恢复率/%	30~70	30~70	30~70	30~70
低温拉伸	0℃,25%,三次循环,15 mm,一组3个试件全部通过	-10℃,50%,三次循环,15 mm,一组3个试件全部通过	-20℃,75%,三次循环,15 mm,一组3个试件全部通过	-30℃,100%,三次循环,15 mm,一组3个试件全部通过

与现行行业标准JT/T 740的评价指标及技术要求相比较,表3有以下几点变化:

(1)取消了流动试验,只采用软化点评价密封胶的高温性能,弹性试验的技术要求保持不变,低温拉伸试验采用沥青混凝土模块。

(2)锥入度的技术要求有所变化。锥入度是一个重要的评价指标,JT/T 740 标准的要求是:高温型≤50,普通型30~70,低温型50~90,严寒型70~150。实验证明,JT/T 740 标准的锥入度要求偏低,处于锥入度下限的材料往往偏硬,不能满足相应的低温拉伸试验要求,因此对高温型的上限、普通型和低温型的上下限、严寒型的下限均提高了20个锥入度单位。表3的锥入度要求的密封胶较JT/T 740 标准的密封胶更软,有利于获得更好的低温性能。

(3)4种类型密封胶的低温拉伸试验的拉伸量要求分别为25%、50%、75%和100%,试验温度越低,拉伸量要求越高,符合路面裂缝运动规律。与JT/T 740 标准相比,对密封胶的低温性能提出更高的要求。

4.2 基于性能的技术要求

以上提出了更符合实际路面使用性能的加热型密封胶的修正技术要求,可作为JT/T 740 行业标准修订时参考。同时,本文提出密封胶材料选择的理想境界是根据所在地区的性能要求选择材料:当使用地区有统计或实测的路面温度、路面裂缝运动量和裂缝开槽宽度数据,及对使用年限有要求时,可采用当地实际情况确定试验条件(试验温度、拉伸量、拉伸循环次数和试件宽度),进行低温拉伸试验。

例如,东北某地区极端最低路面温度达-35℃,裂缝年最大运动量为20 mm,为了适应这种极端温度和大运动量的情况,开槽宽度为20 mm以提供更大的容胶空间,要求质保期为5年,则可进行如下

低温拉伸试验:试验温度-35℃,试件宽度20 mm,拉伸量20 mm(试件宽度的100%),拉伸循环5次。反之,如果海南等地区经过实测认为裂缝年最大运动量基本为0,则可以不进行低温拉伸试验。根据所在地区的气候条件和路面情况,选择理想的密封胶,有望实现理想的裂缝修补效果。

5 结论

(1)对20种密封胶样品的软化点和流动试验结果进行了相关性分析,发现两者具有相关性,因此建议弃用流动试验,只采用软化点试验评价密封胶的高温性能。

(2)修正了原标准锥入度的技术要求。高温型的上限、普通型和低温型的上下限、严寒型的下限均提高了20个锥入度单位。修正后的密封胶较原要求的密封胶更软,有利于获得更好的低温性能。

(3)进行了8种密封胶的不同模块条件下的低温拉伸对比试验,对其中5种密封胶进行了双因素方差分析,结果显示不同模块之间不存在显著性差异,为试件标准化和符合实际应用情况,建议改用沥青混凝土模块制作低温拉伸试件。

(4)根据沥青路面裂缝运动量实测结果,提出了4种类型密封胶的低温拉伸试验的拉伸量要求分别为:高温型,25%;常温型,50%;低温型,75%;严寒型,100%。同时,建议可根据所在地区的性能要求确定低温拉伸试验的试验条件。

参考文献:

- [1] 高建立,李林,宁杰,等.道路高分子聚合物密封胶低温性能实验方法研究[J].公路交通科技应用技术版,2006(1):73.

- GAO Jianli, LI Lin, NING Jie, et al. Research on low temperature performance of experimental methods for pavement high polymer sealant [J]. Highway and Transportation Research Applied Technology, 2006(1):73.
- [2] 中华人民共和国交通运输部. JT/T 740—2009 路面橡胶沥青灌缝胶[S]. 北京:人民交通出版社, 2009.
Ministry of Transport of the People's Republic of China. JT/T 740—2009 Rubber asphalt sealant and filler of pavement[S]. Beijing: China Communications Press, 2009.
- [3] American Society for Testing Materials. ASTM D5329—2004 Standard test methods for sealants and fillers, hot-applied, for joints and cracks in asphaltic and portland cement concrete pavements[S]. Philadelphia: American Society for Testing Materials, 2004.
- [4] American Society for Testing Materials. ASTM D1985—91 Standard practice for preparing concrete blocks for testing sealants, for joints and cracks[S]. Philadelphia: American Society for Testing Materials, 2004.
- [5] 李峰, 黄颂昌, 徐剑, 等. 沥青路面密封胶性能评价与技术要求[J]. 交通运输工程学报, 2009, 9(2): 7.
LI Feng, HUANG Songchang, XU Jian, et al. Performance evaluation and technical requirement of sealant and filler in asphalt pavement [J]. Journal of Traffic and Transportation Engineering, 2009, 9(2): 7.
- [6] Mendenhall W, Sincich T. 统计学[M]. 5版. 北京:机械工业出版社, 2009.
Mendenhall W, Sincich T. Statistics for engineers and the sciences[M]. 5th ed. Beijing: China Machine Press, 2009.

~~~~~

(上接第 1190 页)

- [3] Harr M E. Groundwater and seepage [M]. New York: McGraw-Hill, 1962.
- [4] Ming H F, Wang M S, Tan Z S, et al. Analytical solutions for steady seepage into an underwater circular tunnel [J]. Tunnelling and Underground Space Technology, 2010, 25(4): 391.
- [5] Lei S. An analytical solution for steady flow into a tunnel[J]. Ground Water, 1999, 37(1):23.
- [6] Ponlawich A, Jeong J H, Kim C Y, et al. Effect of drainage conditions on porewater pressure distributions and lining stresses in drained tunnels[J]. Tunnelling and Underground Space Technology, 2009, 24(1):376.
- [7] Shin J H. Analytical and combined numerical methods evaluating pore water pressure on tunnels[J]. Geotechnique, 2010, 60(2):141.
- [8] 王秀英, 王梦想, 张弥. 山岭隧道堵水限排衬砌外水压力研究[J]. 岩土工程学报, 2005, 27(1):125.  
WANG Xiuying, WANG Mengshu, ZHANG Mi. Research on regulating water pressure acting on mountain tunnels by blocking ground water and limiting discharge [J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 2005, 27(1):125.
- [9] Atkinson J H, Mair R J. Loads on leaking and watertight tunnel linings, sewers and buried pipes due to groundwater [J]. Geotechnique, 1983, 33(3):341.
- [10] Fitzpatrick L. Flow patterns around tunnels and their use in evaluating construction problems[C]//Soft Ground Tunneling. Rotterdam: Balkema, 1981:95-104.
- [11] O'Reilly M P, Mair R J, Alderman G H. Long-term settlements over tunnels: an eleven-year study at Grimsby [C]// Proceedings of Conference Tunnelling. London: Institution of Conference Tunnelling, 1991:55-64.
- [12] Wongsaroj J, Soga K, Mair R J. Modelling of long-term ground response to tunnelling under St. James's Park, London[J]. Geotechnique, 2007, 57(1):75.
- [13] Li X. Stress and displacement fields around a deep circular tunnel with partial sealing[J]. Computers and Geotechnics, 1999, 24(9):125.
- [14] 王如路, 肖同刚, 朱妍. 上海地铁盾构隧道渗漏水治理与变形控制[J]. 地下工程与隧道, 2011(增2):102.  
WANG Rulu, XIAO Tonggang, ZHU Yan. Water leakage treatment and deformation control of shield tunnel in Shanghai [J]. Underground Engineering and Tunnels, 2011(Supplement 2):102.
- [15] El T. Circular tunnel in a semi-infinite aquifer[J]. Tunnelling and Underground Space Technology, 2003, 18(1):49.
- [16] Verruijt A, Booker J R. A complex variable analysis of Mindlin's tunnel problem[C]// Advances in Theoretical Geomechanics. Proceedings of the John Booker Memorial Symposium. Rotterdam: Balkema A A, 2000: 3-22.
- [17] Lee K M, Ji H W, Shen C K. Ground response to the construction of Shanghai metro tunnel Line 2 [J]. Soils and Foundations, 1999, 39(3):113.